

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МЕТЕОРИТНОМ МЕТАЛЛЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЗЕМНЫХ УСЛОВИЙ

Яковлев Г.А.

Руководитель – доц., к.т.н. Гроховский В.И.

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург,
yakovlev.grigoriy@gmail.com

В железных метеоритах основными металлическими фазами являются камасит $\alpha\text{-Fe(Ni)}$ и тэнит $\gamma\text{-Fe(Ni)}$. В основном они представляют собой крупные монокристаллы, чей химический состав и структура определяются максимально возможной степенью равновесия в системе Fe-Ni, достигаемой в космических условиях. Однако под воздействием факторов окружающей среды, например земной атмосферы, микроорганизмов, воды, равновесие нарушается и в метеоритном металле начинаются структурные превращения.

В настоящей работе на примере метеоритов Билибино и Алискерово, упавших на территории современной Магаданской области, рассмотрена диффузионно-индуцированная рекристаллизация в метеоритном веществе, инициированная воздействием земных условий. Метеорит Алискерово был обнаружен при производстве горных работ. Предполагается, что изначально метеорит лежал на контакте рыхлых отложений с коренными породами на глубине 7-8 метров от поверхности [1]. Метеорит Билибино был найден под толщей аллювиальных отложений мощностью 14-17 м [2]. Ориентировочное время его падения на земную поверхность составляет не менее 300 тыс. лет.

Фрагменты обоих метеоритов были исследованы с помощью оптического микроскопа Carl Zeiss Axiovert 40 MAT и растрового электронного микроскопа ZEISS SIGMA VP. Измерение локального химического состава было проведено методом EDS при помощи детектора X-Max и программного обеспечения INCA Oxford Instruments. Картины дифракции отраженных электронов были получены на приставке HKL NORDLYSS с программным обеспечением Channel 5.

Метеорит Билибино относится к группе IIВ. Примерно 80% поверхности его шлифа рекристаллизовано. На поверхности образца были замечены следы остановок прежних границ. Эти области характеризуются повышенной травимостью (рисунок 1). В метеорите Алискерово рекристаллизовано примерно 4% поверхности шлифа. В районе межфазных границ камасита с массивными фосфидами наблюдаются области зарождения новой большеугловой границы (рисунок 2). По всей видимости, движение границ было пульсирующим, т.к. имеются

различимые концентрические кольца роста, образованные положениями прежних границ.

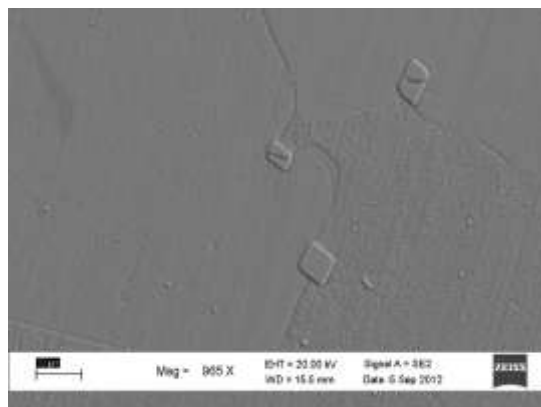


Рисунок 1. Электронное изображение фрагмента метеорита Билибино. Рекристаллизованный участок расположен слева



Рисунок 2. Электронное изображение области зарождения рекристаллизованных участков в метеорите Алискерово

Наблюдаемые структурные изменения в виде рекристаллизации можно объяснить диффузионно-индуцированной миграцией границ зерен (ДИМГЗ). Считается, что в системе Fe–Ni при температуре ниже 350 °C в силу малых значений объёмной диффузии структурные изменения невозможны. Но в рассматриваемых случаях по межфазным границам металл–фосфид длительное время диффундировали окислительные ионы, что привело к зарождению новых большеугловых границ в монокристаллической матрице на стадии, предшествующей низкотемпературной коррозии (возможно имеет место зернограничный эффект Киркендалла). Зернограничная диффузия в мигрирующих границах играет в этом процессе решающую роль. Скорость такой диффузии на несколько порядков величины больше скорости объёмной диффузии. Таким образом, можно сделать вывод о том, что наблюдаемые структурные реакции являются способом достижения равновесия в системе Fe–Ni при низких гомологических температурах.

При эффекте Киркендалла нескомпенсированные диффузионные потоки по разные стороны границы являются причиной возникновения разности концентраций вакансий [3]. Из-за разности потоков по одну сторону образуется больше вакансий, чем по другую. Соответственно граница скачком продвигается в направлении, содержащем большее число вакансий. ДИМГЗ приводит к выделению субмикроскопических выделений кислородсодержащих фаз, что обуславливает повышенную травимось продуктов реакции.

Стоит отметить, что структурные превращения на мигрирующих границах, подобные имеющим место в Билибино и Алискерово, ранее были описаны в каменном метеорите Richardton (H5) [4]. Они наблюдались вблизи межфазной границы металл/силикат и проявлялись в виде незавершенной реакции прерывистого (ячеистого) распада камасита и тэнита. Эти превращения объяснялись повторным нагревом холоднодеформированного вещества.

Обнаружение незавершенных реакций в железных метеоритах, длительное время находившихся в земных условиях, позволило выявить новый тип структурных изменений, играющих существенную роль в преобразовании метеоритного металла на Земле.

Работа выполнена при частичной поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы», Государственные контракты № P1154 и №14.740.11.1006.

Используемые литературные источники:

1. Желнин С.Г., Пляшкевич А.А., Пляшкевич Л.Н., Сандомирская С.М. Железный метеорит Алискерово // Метеоритика. 1980. 39. Р. 54-63.
2. Павлов Г.Ф., Пляшкевич А.А., Савва Н.Е., Бохордоев В.Я. Эволюция космического вещества в земных условиях (на примере железного метеорита Билибино) // Метеоритика. 1985. 44. Р. 46-51.
3. den Broeder F.J.A. Diffusion-induced grain boundary migration and recrystallization, exemplified by the system Cu-Zn // Thin Solid Films. 1985. 124. Р. 135-148.
4. Grokhovsky V.I., Axon H.J. Discontinuous precipitation reactions in α and γ phases of meteoritic metal // Journal of Materials Science Letters. 1982. 1. Р. 485-488.